

## WO2005003829

Publication Title:

MULTIMODE OPTICAL FIBRE

Abstract:

Abstract of WO2005003829

The invention relates to an optical fibre with a multimode core (10) consisting of: a first uniform zone (11) comprising a first material having a first index of refraction; and a second zone (12) comprising at least a second material having a second index of refraction which is lower than the first, said second zone (12) being disposed on the periphery of the first zone (11). The aforementioned first and second zones are configured so that the interface therebetween defines a star-shaped contour in the transverse plane, such that the multimode transmission characteristics of the fibre are identical to those of a graded index fibre. The invention is suitable for amplifier fibres, dual-core lasers or transmission fibres for local networks.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

-----  
Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

*This Patent PDF Generated by Patent Fetcher(TM), a service of Stroke of Color, Inc.*

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
13 janvier 2005 (13.01.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2005/003829 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : G02B 6/16,  
6/18, H01S 3/067

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2004/001522

(22) Date de dépôt international : 16 juin 2004 (16.06.2004)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
03/07590 24 juin 2003 (24.06.2003) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : ALCA-  
TEL [FR/FR]; 54, rue la Boétie, F-75008 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : AN-  
DRIEU, Xavier [FR/FR]; 13, rue des Noyers, F-91220

Bretigny-sur-Orge (FR). PROVOST, Lionel [FR/FR]; 54,  
Chemin du Moulin, F-91460 Marcoussis (FR). GASCA,  
Laurent [FR/FR]; 3, rue Marcel Pagnol, F-91140 Ville-  
bon-Sur-Yvette (FR).

(74) Mandataire : BLOKLAND, Arie; Algemeen Octrooi-  
en Merkenbureau, Jonh F. Kennedylaan 2, P.O. Box 645,  
NL-5600 AP Eindhoven (NL).

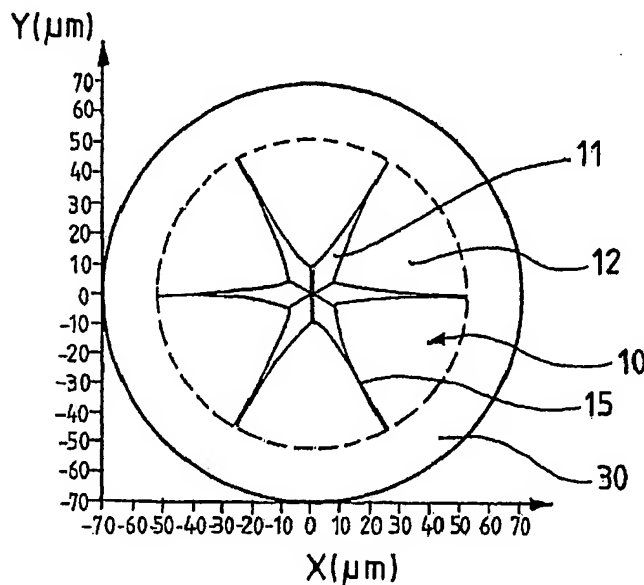
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,  
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,  
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MULTIMODE OPTICAL FIBRE

(54) Titre : FIBRE OPTIQUE MULTIMODE



(57) Abstract: The invention relates to an optical  
fibre with a multimode core (10) consisting of: a  
first uniform zone (11) comprising a first material  
having a first index of refraction; and a second  
zone (12) comprising at least a second material  
having a second index of refraction which is  
lower than the first, said second zone (12) being  
disposed on the periphery of the first zone (11).  
The aforementioned first and second zones are  
configured so that the interface therebetween  
defines a star-shaped contour in the transverse  
plane, such that the multimode transmission  
characteristics of the fibre are identical to those of  
a graded index fibre. The invention is suitable for  
amplifier fibres, dual-core lasers or transmission  
fibres for local networks.

(57) Abrégé : Fibre optique comprenant un coeur  
multimode (10) comportant : - une première  
zone (11) homogène constituée d'un premier  
matériau ayant un premier indice de réfraction;  
- une seconde zone (12) constituée d'au moins  
un deuxième matériau ayant un deuxième indice  
de réfraction inférieur au premier indice, cette

seconde zone (12) étant disposée en périphérie de la première zone (11), lesdites première et seconde zones étant configurées  
de sorte que l'interface entre ces zones définisse dans un plan transverse un contour présentant une forme étoilée telle que les  
caractéristiques de transmission multimode de la fibre soient équivalentes à celles d'une fibre à gradient d'indice. Application à des  
fibres amplificatrices ou des lasers double coeur ou à des fibres de transmission pour réseaux locaux.



ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),  
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,  
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI,  
SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,  
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US  
seulement

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des  
revendications, sera republiée si des modifications sont re-  
çues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrégia-  
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et  
abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de  
la Gazette du PCT.

## FIBRE OPTIQUE MULTIMODE

La présente invention concerne une fibre optique multimode. De telles fibres sont en particulier utilisées pour les systèmes de transmission optique sur courte  
5 distance nécessitant une large bande passante.

Une fibre optique est classiquement composée d'un cœur optique, ayant pour fonction de transmettre l'impulsion lumineuse d'un signal optique, et d'une gaine optique, ayant pour fonction de confiner le signal optique dans le cœur. A cet effet, les indices de réfraction du cœur  $n_1$  et de la gaine  $n_2$  sont tels que  $n_1 > n_2$ .

10 De manière générale, on définit dans une fibre une direction axiale (Y) qui correspond à la direction de propagation du signal optique dans la fibre, une direction radiale (r) qui s'étend du centre du cœur vers la gaine de la fibre et un plan transverse (X, Y) qui correspond à une coupe de la fibre perpendiculairement à sa direction axiale.

15 Pour des applications courtes distances et pour les réseaux locaux, les fibres multimodes sont couramment utilisées. Un cœur multimode présente généralement un diamètre d'environ 50  $\mu\text{m}$ , contre environ 6  $\mu\text{m}$  pour un cœur monomode. Ainsi, pour une longueur d'onde donnée, plusieurs modes optiques se propagent simultanément le long de la fibre, véhiculant la même information.

20 La bande passante est directement liée au temps de groupe des modes optiques se propageant dans le cœur multimode de la fibre. Afin de garantir une large bande passante, il est nécessaire que les temps de groupe de tous les modes soient identiques, c'est-à-dire que la dispersion intermodale soit nulle ou tout au moins minimisée, pour une longueur d'onde donnée.

25 Or, dans une fibre classique à saut d'indice, les différents modes se propagent à des vitesses différentes le long de la fibre, ce qui provoque un étalement de l'impulsion lumineuse qui peut devenir comparable à l'espacement entre les impulsions et induire un taux d'erreur inacceptable.

Pour diminuer la dispersion intermodale dans une fibre multimode, il a été  
30 proposé de réaliser des fibres à gradient d'indice, dont une illustration est donnée sur la figure 1. Une fibre à gradient d'indice comprend un cœur multimode 10 avec un profil d'indice radial et une gaine 30 de confinement. Une telle fibre est définie et ses caractéristiques décrites dans les publications « Multimode theory of graded-core

fibres » de D.Gloge et al., Bell system Technical Journal 1973, pp 1563-1578, et  
 « Comprehensive theory of dispersion in graded-index optical fibers » de G. Yabre,  
 Journal of Lightwave Technology, février 2000, Vol.18, N°2, pp166-177.

Un profil à gradient d'indice peut être défini par une relation entre la valeur  
 5 n de l'indice en un point en fonction de la distance r de ce point au centre de la fibre :

$$n^2(r) = n_{\max}^2 \{1 - 2\Delta(r/r_{\max})^\alpha\}$$

avec  $\alpha \geq 1$  ( $\alpha \rightarrow \infty$  correspondant à un saut d'indice);

$n_{\max}$ , l'indice maximal du cœur multimode ;

$r_{\max}$ , le rayon du cœur multimode ;

10  $\Delta = (n_{\max}^2 - n_{\min}^2)/2n_{\max}^2$ ; avec  $n_{\min}$ , l'indice minimal du cœur multimode, correspondant généralement à l'indice de la gaine.

En résumé, une fibre à gradient d'indice présente un profil d'indice dans le cœur multimode qui possède une symétrie de révolution et tel que le long de toute direction radiale la valeur de l'indice décroît continûment du centre de la fibre vers sa  
 15 périphérie.

Lorsqu'un signal lumineux multimode se propage dans un tel cœur à gradient d'indice, les différents modes « voient » un milieu de propagation différent, ce qui affecte différemment leur vitesse de propagation. Par un ajustement de la valeur du paramètre  $\alpha$ , il est ainsi possible d'obtenir une vitesse de groupe quasiment  
 20 égale pour tous les modes et donc une dispersion intermodale réduite.

Une telle solution présente néanmoins deux inconvénients majeurs. D'une part, le gradient d'indice est obtenu par un dopage contrôlé du cœur multimode, par exemple un dopage Germanium du cœur en silice ou en plastique, ce qui fait appel à un procédé de fabrication complexe et coûteux. D'autre part, l'évolution du dopage  
 25 avec le vieillissement de la fibre peut conduire à des dégradations sensibles de la dispersion intermodale, en particulier pour les fibres optiques plastiques.

Il est également connu du document EP 1 199 581 une fibre optique présentant un cœur multimode à microstructure, dont une illustration vue en coupe transversale est donnée sur la figure 2. Cette fibre optique présente un gradient  
 30 d'indice équivalent introduit dans le cœur multimode par des éléments orientés axialement dans la longueur de la fibre. Ces éléments, tels que des trous d'air, sont agencés en circonférence autour du centre du cœur multimode. Une telle fibre à microstructure est cependant complexe à fabriquer.

Par ailleurs, les fibres multimodes trouvent également des applications comme fibre double cœur pour amplificateur optique ou laser. Un cœur central monomode permet alors de transmettre un signal optique et un cœur multimode permet d'injecter un signal de pompe. Une région dopée, avec des éléments de terre rare par exemple, est disposée dans le cœur monomode ou en anneau dans une région entourant ledit cœur, comme cela est connu du document US 6,288,835. Le signal optique du cœur monomode est amplifié par interaction avec le signal de pompe traversant la région dopée. L'efficacité de l'amplification dépend directement du recouvrement entre le signal de pompe et le signal monomode. Ainsi, le signal de pompe multimode doit-il être amené à traverser le cœur monomode le plus souvent possible le long de la fibre dopée.

A cet effet, il a déjà été proposé, en particulier dans les documents US 5,949,941 et WO 02/03510, d'introduire des protubérances radiales sur la surface extérieure de la région dopée ou de réaliser cette surface selon une forme polygonale en coupe transverse. Ces solutions permettent un meilleur recouvrement du signal de pompe avec la région dopée.

L'objectif de la présente invention est de proposer une fibre optique multimode ayant des caractéristiques de transmission multimode qui soient équivalentes à celles d'une fibre à gradient d'indice mais sans nécessiter de réaliser un tel gradient d'indice.

L'invention concerne plus particulièrement une fibre optique comprenant un cœur multimode comportant :

- une première zone homogène constituée d'un premier matériau ayant un premier indice de réfraction;
- une seconde zone constituée d'au moins un deuxième matériau ayant un deuxième indice de réfraction inférieur au premier indice, cette seconde zone étant disposée en périphérie de la première zone, lesdites première et seconde zones étant configurées de sorte que l'interface entre ces zones définisse dans un plan transverse un contour délimitant la première zone qui présente une forme étoilée telle que les caractéristiques de transmission multimode de la fibre soient équivalentes à celles d'une fibre à gradient d'indice.

Selon une caractéristique, la forme étoilée dudit contour comporte N branches et présente une symétrie angulaire d'ordre N.

Selon une caractéristique, la forme étoilée dudit contour comporte au moins 4 branches.

Selon un mode de réalisation, la seconde zone comprend une pluralité de matériaux ayant des indices de réfraction différents.

5        Selon une caractéristique, les différents matériaux de la seconde zone sont concentriques.

Selon une caractéristique, la fibre comprend en outre une gaine constitué d'un matériau de la seconde zone du cœur multimode.

10       Selon un mode de réalisation, le matériau de la première zone du cœur multimode contient du verre.

Selon un autre mode de réalisation, le matériau de la première zone du cœur multimode contient du plastique.

Selon un mode de réalisation, le matériau de la seconde zone du cœur multimode contient du plastique.

15       Selon un autre mode de réalisation, le matériau de la seconde zone du cœur multimode contient du verre.

Selon une caractéristique, le verre contient de la silice.

Selon un mode de réalisation, le matériau de la première et/ou seconde zone du cœur multimode contient un élément dopant.

20       Selon une caractéristique, la fibre comprend en outre un cœur monomode et la première zone est placée en périphérie de ce cœur monomode.

Selon une caractéristique, le cœur monomode comporte un dopant de terre rare.

25       Selon une caractéristique, le cœur monomode est entouré d'un anneau contenant un dopant de terre rare.

L'invention concerne aussi un amplificateur optique ou un laser comprenant une fibre optique selon l'invention.

L'invention concerne également un réseau optique local comprenant au moins une fibre optique selon l'invention.

30

Les particularités et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui suit, donnée à titre d'exemple illustratif et non limitatif, et faite en référence aux figures annexées qui représentent :

- la figure 1, déjà décrite, une vue schématique en coupe transversale d'une fibre optique à gradient d'indice selon l'art antérieur ;
- 5 - la figure 2, déjà décrite, une vue schématique en coupe transversale d'une fibre à microstructure présentant un gradient d'indice équivalent selon l'art antérieur ;
- la figure 3, une vue schématique en coupe transversale d'une fibre selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- 10 - la figure 4, un graphe de l'indice de réfraction équivalent de la fibre de la figure 3 ;
- la figure 5, une vue schématique en coupe transversale d'une fibre selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 6, un graphe de l'indice de réfraction équivalent de la fibre de la figure 5 ;
- 15 - la figure 7, une vue schématique en coupe transversale d'une fibre selon le deuxième mode de réalisation dans une application à une fibre amplificatrice ;
- la figure 8, une vue schématique en coupe transversale d'une fibre selon un troisième mode de réalisation de l'invention ;
- 20 - la figure 9, un graphe de l'indice de réfraction équivalent de la fibre de la figure 8 ;
- la figure 10, un graphe de l'indice de réfraction dans le plan transverse de la fibre de la figure 8.

25 Selon l'invention, une fibre optique multimode équivalente à une fibre présentant un profil d'indice à un gradient d'indice est réalisée. Une telle fibre peut ainsi trouver des applications à la transmission haut débit sur courte distance avec une bande passante améliorée, ou des applications à l'amplification en ligne sur fibre double cœur avec un taux de recouvrement amélioré.

30 Le cœur multimode de la fibre selon l'invention comprend deux zones comprenant chacune un matériau différent de l'autre. L'interface entre ces deux zones définit dans le plan transverse un contour qui présente une forme étoilée dans



le plan transverse de la fibre. Cette structure à deux zones du cœur multimode rend la fibre équivalente à une fibre à un gradient d'indice.

Un premier mode de réalisation de la fibre selon l'invention est décrit en référence à la figure 3 qui représente une vue schématique en coupe transversale de la fibre.

Le cœur multimode 10 (délimité par les pointillés) présente une première zone 11 comprenant un premier matériau ayant un indice de réfraction  $n_1$  et une seconde zone 12 comprenant un deuxième matériau ayant un indice de réfraction  $n_2 < n_1$ . Un comportement équivalent à une fibre à gradient d'indice est obtenu par une forme de l'interface 15 entre lesdites zones 11, 12 qui est telle que le contour que définit cette interface dans un plan transverse présente une forme étoilée. L'interface 15 entre les matériaux desdites zones 11, 12 réalise un saut d'indice.

Le gradient d'indice équivalent obtenu est reproduit sur le graphe de la figure 4.

Les matériaux des ces deux zones peuvent être de natures différentes ou présenter un dopage approprié qui induit le saut d'indice à l'interface 15. Les matériaux des zones 11 et 12 sont cependant homogènes, le dopage le cas échéant étant uniforme dans ledit matériau. La fabrication d'une telle fibre est donc simplifiée par rapport au contrôle nécessaire lorsqu'un gradient d'indice doit être introduit par dopage directement dans un unique matériau.

Les matériaux des zones 11 et 12 du cœur multimode peuvent être en verre et/ou en plastique, éventuellement dopés.

Selon un mode de réalisation, le matériau de la première zone 11 peut être un plastique, tel que du Poly Méthyle Méthacrylate (connu sous le terme de Plexiglas®) et le matériau de la seconde zone 12 peut être un plastique, par exemple du Poly Méthyle Méthacrylate dopé avec un composé Fluoré. L'interface 15 à contour en étoile peut être obtenue par extrusion des polymères.

Selon un autre mode de réalisation, le matériau de la première zone 11 peut être un verre, par exemple de la silice, éventuellement dopé avec du germanium, de l'aluminium, du phosphore ou du lanthane qui augmente l'indice de réfraction. Le matériau de la seconde zone 12 peut être un plastique, tel que du Téflon® amorphe par exemple, déposé sur une préforme en verre de la première zone 11 pendant ou après l'étirage de la fibre.

Selon un autre mode de réalisation, les matériaux des première 11 et seconde 12 zones peuvent également être en verre, par exemple en silice, différemment dopés pour garantir le saut d'indice à l'interface 15. La première zone 11 peut être de la silice dopée avec du germanium par exemple ou tout autre dopant 5 élevant l'indice de réfraction précédemment cité ; et la seconde zone 12 peut être de la silice dopée avec du fluor ou du bore pour diminuer l'indice de réfraction ou comprendre un verre silicate ou un verre fluoré. La forme étoilée peut être obtenue par montage verrier. La différence de viscosité entre les zones 11, 12 permet de créer une déformation lors de l'étirage sur la préforme et de créer la forme étoilée de 10 l'interface 15.

Sur la figure 3, le contour de l'interface 15 de forme étoilée comporte 6 branches. Le gradient d'indice équivalent est induit par la valeur des indices  $n_1$  et  $n_2$  respectifs des matériaux de la première et seconde zone et par la longueur et l'épaisseur des branches de la forme étoilée de l'interface.

15 La méthode de calcul de l'indice équivalent est principalement basée sur les publications de Rastogi et al., « Propagation characteristics of a segmented cladding fiber », Optics letters, Vol.26, N°8, pp.491-493, et de Chiang, « Radial effective-index method for the analysis of optical fibers », Applied Optics, Vol.26, N°15, pp.2969-2973.

20 Cette méthode permet de définir les caractéristiques des modes, à savoir le champ électrique  $E$  et l'indice effectif  $n_{\text{eff}}$ , dans un profil d'indice périodique azimutal de période angulaire  $\theta_m = 2\pi/N$ , avec  $N$  le nombre de branches. En se basant sur l'hypothèse que le champ électrique d'un mode  $E(r, \theta)$  peut être décomposé en une composante radiale  $E_r$  et une composante azimutale  $E_{\theta}$ , tel que  $E(r, \theta) = E_r(r) \cdot E_{\theta}(r, \theta)$ , 25 l'obtention de la constante de propagation du mode est basée sur un calcul d'un profil d'indice équivalent  $n_{\text{eq}}$  à symétrie circulaire. Ce profil d'indice  $n_{\text{eq}}$  est obtenu par une distribution azimutale des indices de réfraction sur un rayon donné.

Ainsi, en choisissant de manière appropriée la distribution azimutale des indices de réfraction, c'est-à-dire le nombre et l'épaisseur des branches ainsi que la 30 valeur des indices de réfraction des matériaux utilisés, on peut réaliser l'équivalent d'un gradient d'indice pour les modes optiques se propageant dans un tel milieu.

Sur l'exemple de la figure 3, le diamètre du cœur multimode est de  $50\mu\text{m}$ , la différence d'indice  $\Delta n$  de  $4 \cdot 10^{-2}$  et la valeur de  $\alpha=2$ . On obtient alors, comme

reporté sur la figure 4, un profil d'indice en gradient depuis le centre du cœur multimode jusqu'à la gaine 30 de la fibre.

Dans cet exemple, comme illustré sur la figure 3, la gaine 30 de la fibre est composée du même matériau que celui utilisé pour la seconde zone 12 du cœur multimode 10. Cela simplifie évidemment la fabrication de la fibre. La gaine 30 présente dans cet exemple une épaisseur de  $20\mu\text{m}$ .

Dans l'exemple de la figure 5, l'interface 15 de forme étoilée comporte 8 branches. Le diamètre du cœur multimode 10 est de  $50\mu\text{m}$ , la différence d'indice  $\Delta n$  de  $1.10^{-1}$  et la valeur de  $\alpha=5$ . On obtient alors, comme reporté sur la figure 6, un profil d'indice en gradient depuis le centre du cœur multimode jusqu'à la gaine de la fibre.

Selon les modes de réalisation la forme étoilée de l'interface 15 présente un nombre de branche N appropriée, au moins 4, de préférence uniformément distribuée azimutalement, c'est-à-dire que les branches sont réparties de manière à ce que l'angle formé entre deux branches consécutives soit identique quelle que soit la branche considérée. Le contour de l'interface 15 présente donc une symétrie angulaire d'ordre N.

Dans l'exemple de la figure 7, l'interface 15 de forme étoilée comporte 8 branches et le cœur multimode correspond à celui de la figure 5. La fibre comporte en outre un cœur monomode central 20 apte à transmettre un signal optique monomode. Ce cœur monomode peut inclure un milieu amplificateur, en étant par exemple dopé avec un élément de terre rare, tel que de l'erbium (Er). Le cœur monomode peut également être entouré d'un anneau contenant le milieu amplificateur, comme cela est connu du document US 6,288,835 précédemment cité.

Le cœur multimode selon l'invention est alors utilisé pour transmettre une onde de pompe sur une certaine distance de fibre. La structure en gradient d'indice du cœur multimode permet un meilleur recouvrement de l'onde de pompe avec le milieu amplificateur en donnant plus de puissance aux modes de propagation d'ordre supérieur, les modes d'ordres inférieurs étant susceptibles d'être plus fortement atténués le long de la fibre par un phénomène connu de couplage de mode. En conséquence, le meilleur recouvrement de l'onde multimode de pompe avec le milieu amplificateur et le cœur monomode apporte un meilleur rendement d'amplification du signal monomode.

Dans l'exemple de la figure 8, l'interface 15 de forme étoilée comporte 6 branches. Le diamètre du cœur multimode 10 est de  $50\mu\text{m}$ , la différence d'indice  $\Delta n$  de  $4.10^{-2}$  et la valeur de  $\alpha=4$ . On obtient alors, comme reporté sur la figure 9, un profil d'indice en gradient depuis le centre du cœur multimode jusqu'à la gaine 30 de la fibre.

Dans cet exemple, la seconde zone 12 du cœur multimode est composée d'une pluralité de matériaux concentriques 21 (blanc), 22 (rayé), 23 (points) ayant des indices de réfraction différents décroissants reportés sur la figure 10.

En revenant à la méthode de calcul de l'indice équivalent décrite précédemment, on obtient alors une distribution azimutale des indices de réfraction pour un rayon donné modifiée, par rapport à l'exemple de la figure 3, par la présence d'indices de réfraction différents dans la seconde zone 12. Ce mode de réalisation permet ainsi de réaliser une première zone 11 de forme étoilée avec des branches plus épaisses que dans l'exemple de la figure 3, ce qui est plus facile à fabriquer.

Une telle fibre peut être composée de verre faiblement dopé pour le matériau de la première zone 11 et de trois polymères extrudés pour les matériaux 21, 22, 23 de la seconde zone 12. La gaine 13 de la fibre peut être en verre. Les matériaux plastiques de la zone 12 peuvent être du Poly Méthyle Méthacrylate, du Poly Carbonate, du Téflon® AF, une résine acrylate, éventuellement dopée au fluor pour abaisser son indice de réfraction, du Cytop™ commercialisé par exemple par la société Asahi Glass.

Un homme du métier pourra déterminer un profil d'indice équivalent pour le cœur multimode d'une fibre optique, qui soit approprié à l'application souhaitée, en choisissant les indices de réfraction des matériaux des zones 11, 12 et la forme de l'interface 15, c'est-à-dire le nombre et l'épaisseur des branches à conformer.

**REVENDEICATIONS**

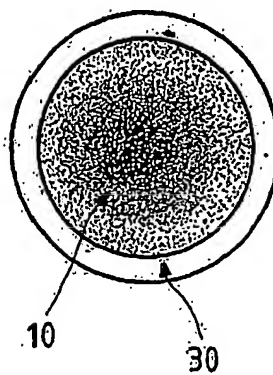
- 1.** Fibre optique comprenant un cœur multimode (10) comportant :
- une première zone (11) homogène constituée d'un premier matériau ayant un premier indice de réfraction ( $n_1$ );
  - une seconde zone (12) constituée d'au moins un deuxième matériau ayant un deuxième indice de réfraction ( $n_2$ ) inférieur au premier indice ( $n_1$ ), cette seconde zone (12) étant disposée en périphérie de la première zone (11), lesdites première et seconde zones étant configurées de sorte que l'interface entre ces zones définisse dans un plan transverse un contour délimitant la première zone (11) qui présente une forme étoilée telle que les caractéristiques de transmission multimode de la fibre soient équivalentes à celles d'une fibre à gradient d'indice.
- 2.** Fibre optique selon la revendication 1, caractérisée en ce que la forme étoilée dudit contour comporte N branches et présente une symétrie angulaire d'ordre N.
- 3.** Fibre optique selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisée en ce que la forme étoilée dudit contour comporte au moins 4 branches.
- 4.** Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la seconde zone (12) comprend une pluralité de matériaux (21, 22, 23) ayant des indices de réfraction différents.
- 5.** Fibre optique selon la revendication 4, caractérisé en ce que les différents matériaux de la seconde zone (12) sont concentriques.
- 6.** Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre une gaine (30) constitué d'un matériau de la seconde zone (12) du cœur multimode.

7. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que le matériau de la première zone (11) du cœur multimode contient du verre.
- 5 8. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que le matériau de la première zone (11) du cœur multimode contient du plastique.
9. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le matériau de la seconde zone (12) du cœur multimode contient du plastique.
- 10 10. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que le matériau de la seconde zone (12) du cœur multimode contient du verre.
11. Fibre optique selon la revendication 7 ou 10, caractérisée en ce que le verre contient de la silice.
- 15 12. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le matériau de la première et/ou seconde zone (11, 12) du cœur multimode contient un élément dopant.
13. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un cœur monomode (20) et en ce que ladite première zone (11) est placée en périphérie de ce cœur monomode (20).
- 20 14. Fibre optique selon la revendication 13, caractérisée en ce que le cœur monomode comporte un dopant de terre rare.
15. Fibre optique selon la revendication 13, caractérisée en ce que le cœur monomode est entouré d'un anneau contenant un dopant de terre rare.
- 25

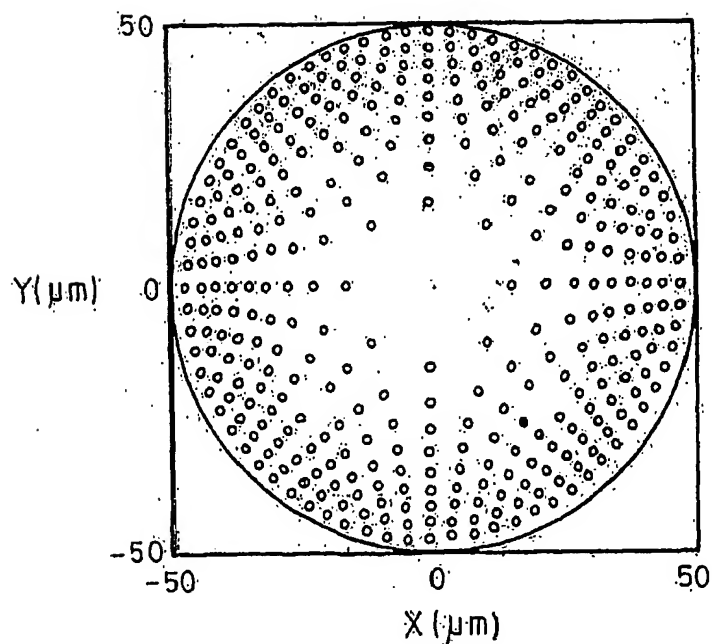
- 16.** Amplificateur optique comprenant une fibre optique selon l'une des revendications 13 à 15.
- 17.** Laser comprenant une portion de fibre optique selon l'une des revendications 13 à 15.
- 5 **18.** Réseau optique local comprenant au moins une fibre optique selon l'une des revendications 1 à 12.

1/5

FIG\_1

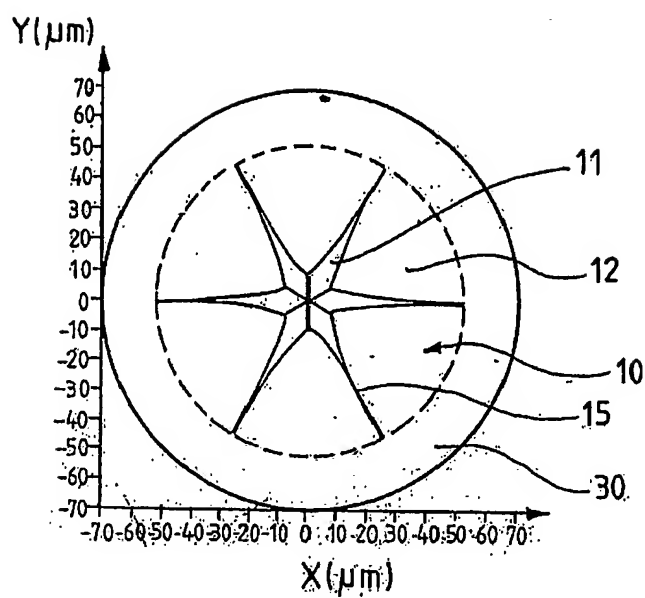
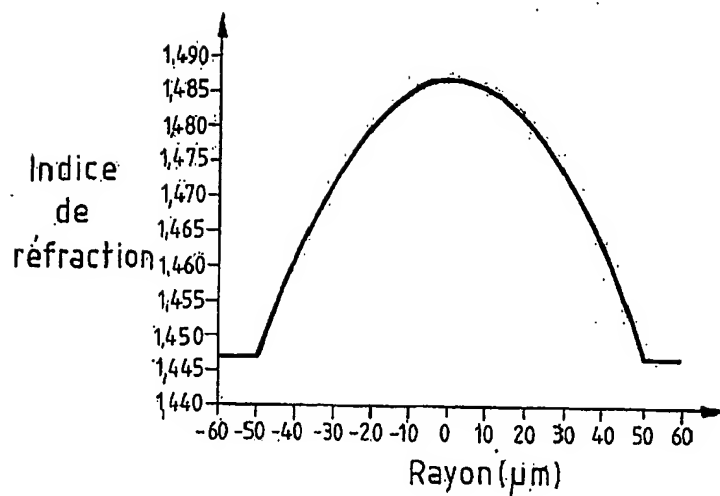


FIG\_2

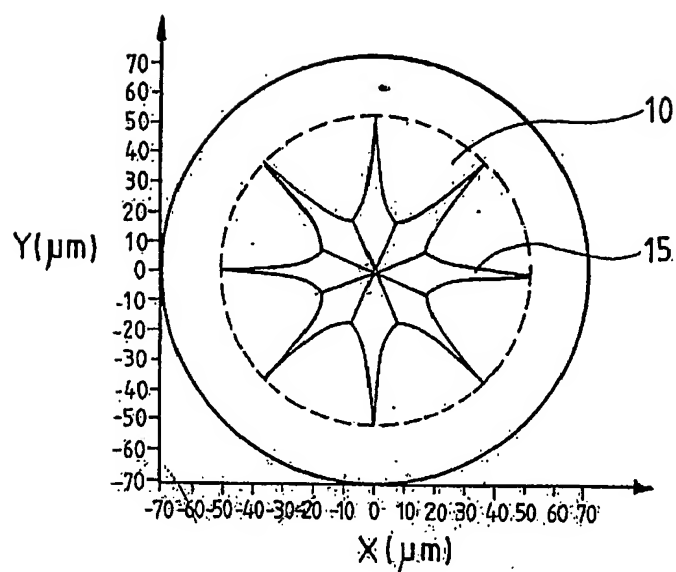
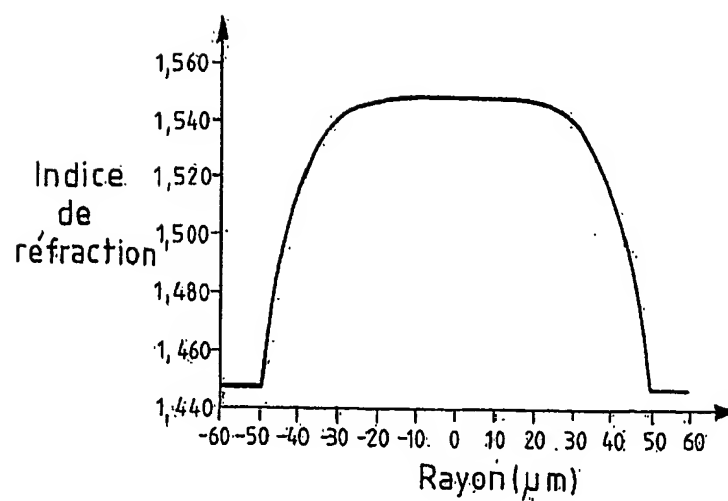




2/5

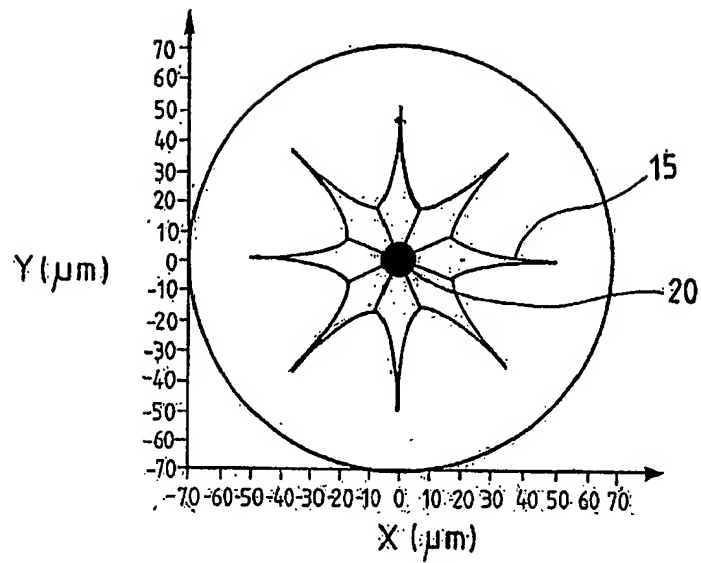
FIG\_3FIG\_4

3/5

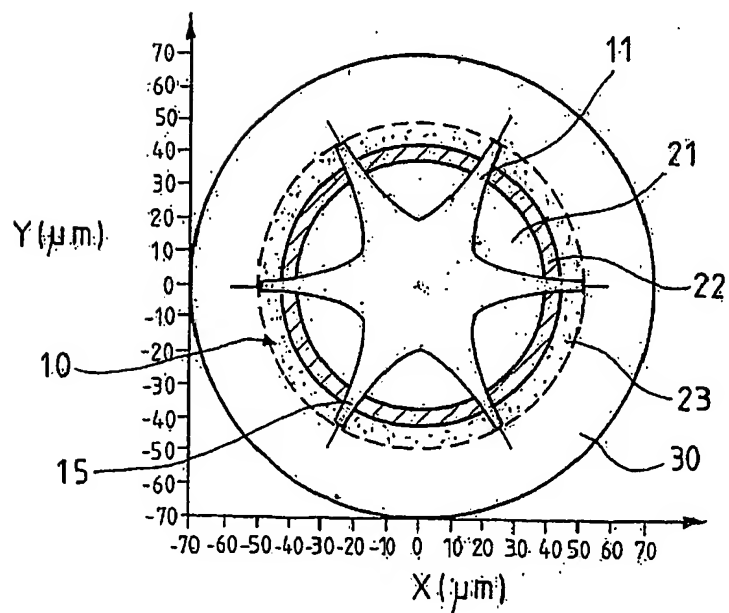
FIG\_5FIG\_6

4/5

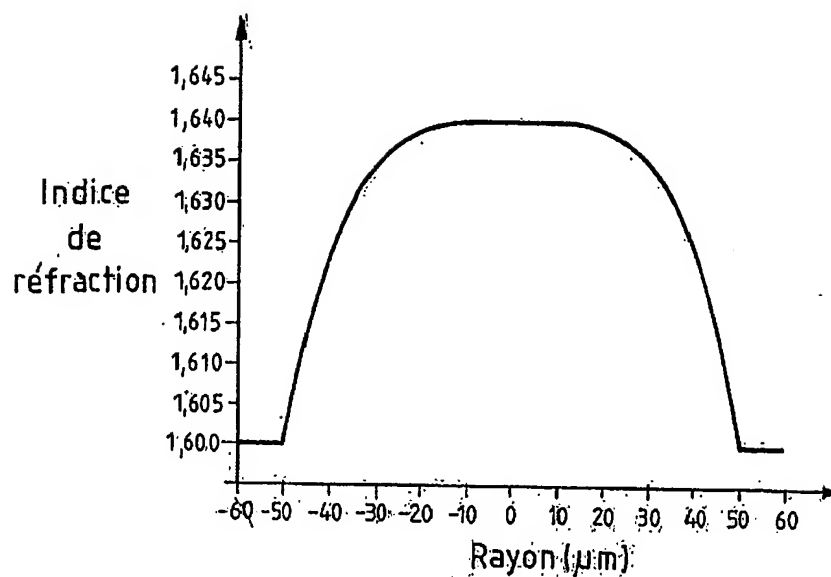
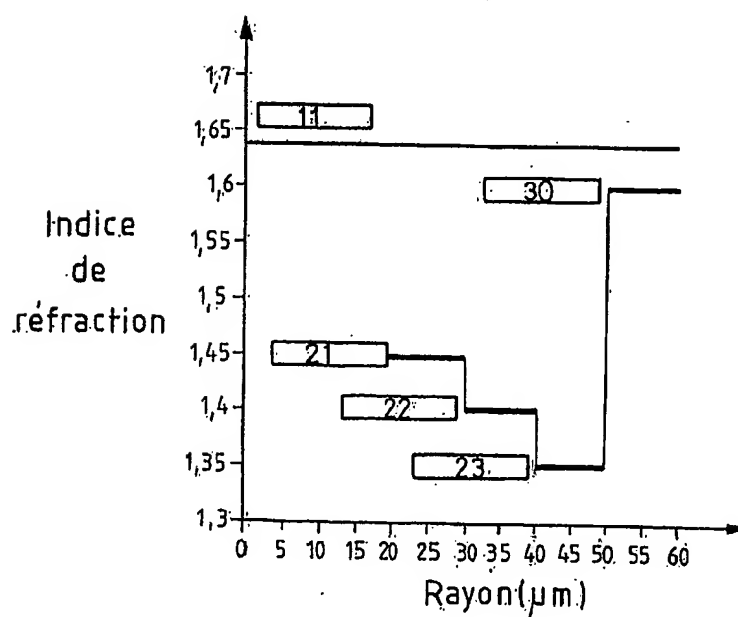
FIG\_7



FIG\_8



5/5

FIG\_9FIG\_10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/001522

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G02B6/16 G02B6/18 H01S3/067

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	RASTOGI V ET AL: "Large mode area single-mode fiber: a modified segmented cladding fiber" PROC. 1ST INT. CONF. ON OPTICAL COMMUNICATIONS AND NETWORKS (ICOEN), SINGAPORE 2002, 11 November 2002 (2002-11-11), pages 115-117, XP008029115	1-3
Y	the whole document	4-18
Y	US 4 265 515 A (KAO CHARLES K) 5 May 1981 (1981-05-05) abstract; figure 4	4,5

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the International filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

18 October 2004

Date of mailing of the international search report

05/11/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5816 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kloppenburg, M

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/001522

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 157 763 A (GRUBB STEPHEN G ET AL) 5 December 2000 (2000-12-05) column 4, lines 24-60 column 6, line 66 - column 7, line 7; figure 8	6-18
A	----- RASTOGI V ET AL: "PROPAGATION CHARACTERISTICS OF A SEGMENTED CLADDING FIBER" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 26, no. 8, 15 April 2001 (2001-04-15), pages 491-493, XP001034429 ISSN: 0146-9592 cited in the application the whole document	1
A	----- GLOGE D ET AL: "MULTIMODE THEORY OF GRADED-CORE FIBERS" BELL SYSTEM TECHNICAL JOURNAL, AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH CO. NEW YORK, US, vol. 52, no. 9, November 1973 (1973-11), pages 1563-1578, XP001002293 cited in the application abstract	1
A	----- US 6 288 835 B1 (NILSSON LARS J A ET AL) 11 September 2001 (2001-09-11) cited in the application abstract; figure 1	15
A	----- EP 1 199 581 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 24 April 2002 (2002-04-24) cited in the application paragraph '0033! - paragraph '0035!; figures 9A,9B	1,6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/001522

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4265515	A	05-05-1981	NONE	
US 6157763	A	05-12-2000	US 6345141 B1	05-02-2002
US 6288835	B1	11-09-2001	AU 5402498 A	29-06-1998
			GB 2366447 A ,B	06-03-2002
			WO 9825326 A1	11-06-1998
			GB 2335074 A ,B	08-09-1999
			US 2002030881 A1	14-03-2002
EP 1199581	A	24-04-2002	US 6594429 B1	15-07-2003
			DE 60101535 D1	29-01-2004
			DE 60101535 T2	30-09-2004
			EP 1199581 A1	24-04-2002

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR2004/001522

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> CIB 7    G02B6/16    G02B6/18    H01S3/067		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7    G02B    H01S		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	RASTOGI V ET AL: "Large mode area single-mode fiber: a modified segmented cladding fiber" PROC. 1ST INT. CONF. ON OPTICAL COMMUNICATIONS AND NETWORKS (ICOEN), SINGAPORE 2002, 11 novembre 2002 (2002-11-11), pages 115-117, XP008029115	1-3
Y	le document en entier	4-18
Y	US 4 265 515 A (KAO CHARLES K) 5 mai 1981 (1981-05-05) abrégé; figure 4	4,5
-/-		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</span> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Catégories spéciales de documents cités:</p> <p>*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>*E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>*L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>*O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>*P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>*X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>*Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>*&amp;* document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <div style="text-align: center; font-weight: bold;">18 octobre 2004</div>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <div style="text-align: center; font-weight: bold;">05/11/2004</div>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé <div style="text-align: center; font-weight: bold;">Kloppenburg, M</div>



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/FR2004/001522

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 6 157 763 A (GRUBB STEPHEN G ET AL) 5 décembre 2000 (2000-12-05) colonne 4, ligne 24-60 colonne 6, ligne 66 - colonne 7, ligne 7; figure 8 -----	6-18
A	RASTOGI V ET AL: "PROPAGATION CHARACTERISTICS OF A SEGMENTED CLADDING FIBER" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 26, no. 8, 15 avril 2001 (2001-04-15), pages 491-493, XP001034429 ISSN: 0146-9592 cité dans la demande le document en entier -----	1
A	GLOGE D ET AL: "MULTIMODE THEORY OF GRADED-CORE FIBERS" BELL SYSTEM TECHNICAL JOURNAL, AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH CO. NEW YORK, US, vol. 52, no. 9, novembre 1973 (1973-11), pages 1563-1578, XP001002293 cité dans la demande abrégé -----	1
A	US 6 288 835 B1 (NILSSON LARS J A ET AL) 11 septembre 2001 (2001-09-11) cité dans la demande abrégé; figure 1 -----	15
A	EP 1 199 581 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 24 avril 2002 (2002-04-24) cité dans la demande alinéa '0033! - alinéa '0035!; figures 9A,9B -----	1,6

Formulaire PCT/ISA/210 (suite de la deuxième feuille) (Janvier 2004)

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements re aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR2004/001522

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4265515	A	05-05-1981	AUCUN	
US 6157763	A	05-12-2000	US 6345141 B1	05-02-2002
US 6288835	B1	11-09-2001	AU 5402498 A	29-06-1998
			GB 2366447 A ,B	06-03-2002
			WO 9825326 A1	11-06-1998
			GB 2335074 A ,B	08-09-1999
			US 2002030881 A1	14-03-2002
EP 1199581	A	24-04-2002	US 6594429 B1	15-07-2003
			DE 60101535 D1	29-01-2004
			DE 60101535 T2	30-09-2004
			EP 1199581 A1	24-04-2002